


УДК 624.048
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-40-48

Научная статья



Информационное моделирование реконструкции каркаса административного многоэтажного здания

Г. М. Кравченко ✉, Е. В. Труфанова, М. И. Кадомцев

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ galina.907@mail.ru

Аннотация

Введение. Данное исследование посвящено проблеме выбора конструктивных решений для усиления каркаса реконструируемого многоэтажного административного здания. Предметом исследования выбрано бывшее здание Совета Министров Республики Абхазия в г. Сухум.

Материалы и методы. При обследовании изучаемого здания были применены методы инструментального и визуального обследования, которые выявили значительный прогиб плиты покрытия и удерживающих ее двух стальных балок, а также появление трещин в несущих конструкциях и разрушение перегородок. По результатам обследования разработаны объемно-планировочные чертежи и ведомость дефектов конструкций. Разработана пространственная конечно-элементная модель здания в программном комплексе «ЛИРА-САПР» с учетом разработанных объемно-планировочных решений по реконструкции объекта исследования. Нагрузки и воздействия заданы с учетом требования актуальных норм проектирования. Учтены обнаруженные дефекты элементов конструкций.

Результаты исследования. Выполнен динамический расчет каркаса здания методом конечных элементов. Анализ результатов расчета показал, что все три формы колебаний крутильные, что говорит о сложных конструктивных решениях каркаса здания и требует дополнительных расчетов для обеспечения надежности конструктивных решений. Заданы динамические нагрузки на каркас здания с учетом требований к зданиям с каркасом сложной конструктивной системы. Результаты общего статического расчета показали, что несущие конструкции здания находятся в работоспособном состоянии за исключением плиты покрытия.

Обсуждение и заключения. По результатам численного эксперимента по моделированию работы плиты покрытия разработаны рациональные решения по ее реконструкции, даны рекомендации по учету сейсмических воздействий на каркас реконструируемого здания Совета Министров.

Ключевые слова: конструктивные решения, усиления каркаса, реконструкция каркаса, метод конечных элементов, конечно-элементная модель, формы собственных колебаний, параметры собственных колебаний, сейсмические воздействия.

Для цитирования. Кравченко Г. М. Информационное моделирование реконструкции каркаса администра-тивного многоэтажного здания / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, М. И. Кадомцев // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 2. — С. 40–49.
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-40-48

Original article

Information Modeling of the Administrative Multi-Storey Building Frame Reconstruction

Galina M. Kravchenko, Elena V. Trufanova, Maxim I. Kadomtsev

Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation

galina.907@mail.ru

Abstract

Introduction. The present study is targeting the problem of choosing construction solutions for strengthening the frame of a reconstructed multi-storey administrative building. The object of the study is the former Council of Ministers building in the town of Sukhum, Republic of Abkhazia.

Materials and methods. During the examination of the building under study, instrumental and visual inspection methods were implemented, which revealed the significant deflection of the roof slab and of two supporting steel beams, as well as emergence of cracks in the load bearing structures and the destruction of partitions. According to the results of examination the dimensional-planning drawings and a structures' defects list were elaborated. A spatial finite element model of the building was developed in the LIRA-SAPR software package, taking into account the developed dimensional-planning solutions for the reconstruction of the facility under study. Loads and impacts were set taking into account the requirements of relevant design standards. The detected defects of the structures' elements were considered.

Results. The dynamic calculation of the building frame by finite element method is carried out. The calculation results analysis has shown that all three forms of oscillations are torsional, which proves the structural solutions of the building frame to be complex and requires additional calculations to ensure reliability of construction solutions. The building frame dynamic loads are set taking into account the requirements for buildings with a complex structure frame. The results of the general static calculation has shown that the load-bearing structures of a building are in operating state except for the roof slab.

Discussion and Conclusions. Based on the results of a numerical experiment on modeling the operation of the roof slab, the rational solutions for its reconstruction have been developed, recommendations on considering the seismic impacts on the reconstructed building frame of the Council of Ministers have been given.

Keywords: construction solutions, strengthening of the frame, finite element method, finite element model, forms of natural oscillations, parameters of natural oscillations, seismic impacts.

For citation. G. M. Kravchenko, E. V. Trufanova, M. I. Kadomtsev. Information Modeling of the Administrative Multi-Storey Building Frame Reconstruction Modern Trends in Construction. Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 2, pp. 40–49. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-40-48

Введение. Обследование конструкций зданий и сооружений – это комплекс мероприятий и исследований, необходимых для определения текущего состояния конструктивных элементов здания. В процессе обследования определяют дефекты строительных конструкций и оценивают возможности дальнейшей эксплуатации здания.

Для большинства зданий г. Сухум характерны повреждения конструкций в результате техногенных воздействий. Значительное количество зданий было построено по нормам, которые уже несколько раз актуализировались и изменялись. Обследование и реконструкция таких объектов необходима не только для дальнейшего их использования, но и для восстановления архитектурного облика городов и привлечения новых потоков туристов в рекреационную зону.

В качестве объекта исследования выбрано здание Совета Министров Республики Абхазия в г. Сухум (рис. 1).

Боковые корпуса комплекса были построены еще в 1935 году по проекту архитекторов В. Г. Гельфрейх и В. А. Щуко. Высотную часть возвели в 1980-е, позаботившись о том, чтобы архитектурный стиль гармонировал с остальными зданиями. За счет своей высоты здание хорошо просматривается со всех центральных улиц г. Сухум. В 1993 г. в здании бушевал сильнейший пожар, вызвавший сильные повреждения несущих конструкций. С тех пор этот комплекс зданий много лет стоит заброшенным.

Технические решения, предусмотренные реконструкцией, представлены комплексом технологических, технических и организационных мероприятий, направленных, в первую очередь, на повышение надежности, противопожарной и экологической безопасности проектируемых объектов, нанесению минимального ущерба окружающей природной среде.



Рис. 1. Здание Совета министров Республики Абхазия в г. Сухум (фото авторов)

Высота этажей исследуемого объекта: цокольный этаж – 2780 мм (от пола до пола), 1 – 12 этаж – 3370 мм (от пола до пола), 13-й этаж (технический) – 2650 мм (от пола до потолка).

Предлагается на первом и втором этажах расположить 18 помещений назначения общего пользования: буфеты, гардеробные, архив, читальный зал, множительно-копировальные центры и т.д. В процессе реконструкции каждый этаж оборудовать санузлами (в том числе санузлом для малогабаритного населения (МГН)). Вход в здание через центральную лестницу оснастить электрическими подъемниками для МГН.

Функциональную связь между этажами обеспечат четыре пассажирских лифта, доходящих до 12 этажа. С первого на тринадцатый этаж можно попасть при помощи двух лестниц, находящихся по краям здания. Также второй и цокольный этаж связывают две винтовые лестницы.

Центральная прямая широкая лестница запроектирована с учетом перевозки МГН, включая МГН-колясочников (с системой работы лифта «перевозка пожарных подразделений» и «пожарная опасность»).

На 3–12 этажах будут располагаться кабинетные помещения, конференц-залы, залы совещаний. Все офисные помещения имеют типовую планировку, современную отделку в европейском стиле и оснащены индивидуальными

счетчиками энергоресурсов. В период эксплуатации планировка помещений офисного назначения может быть изменена, как и функциональное назначение отдельно взятого кабинета.

На 11 и 12 этажах предусмотрен большой актовый зал, занимающий сразу два этажа, используемый для проведения больших мероприятий.

Внешний и внутренний облик здания после реконструкции определяется требованиями функциональности, практичности, технико-экономическим обоснованием.

Проектные и планировочные решения обеспечивают нормативные инсоляцию и санитарно-гигиенические условия всех офисных помещений.

Для выбранного объекта необходимо выполнить обследование конструкций каркаса здания, разработать объемно-планировочные чертежи и ведомость дефектов конструкций, выполнить численные эксперименты по моделированию работы конструкций здания с учетом выявленных дефектов, предложить методы по учету динамических нагрузок на каркас здания в соответствии с действующей нормативной документацией. По результатам исследования разработать рекомендации по реконструкции каркаса многоэтажного административного здания.

Актуальность исследования заключается в необходимости развития и совершенствования методологии расчета зданий и сооружений с учетом последствий техногенных воздействий. В настоящее время отсутствует единая концепция для выполнения таких расчетов, в том числе не разработаны аналитические методы для определения возможных повреждений на всех этапах жизненного цикла здания, построения прогнозов с целью определения вероятности и масштабов разрушений в случае возникновения аварийных ситуаций. Исследование и контроль напряженно-деформированного состояния здания и его элементов позволяет грамотно определить возможности обрушения несущих конструкций под воздействием техногенных или природно-техногенных нагрузок.

Решение задачи о безопасности конструктивной системы здания или сооружения обуславливается обеспечением двух главных показателей, таких как надежность и живучесть системы. Необходимо обеспечить такую работу сооружения, которая отвечала бы требованиям надежности и пригодности к нормальной эксплуатации в течение всего жизненного цикла здания.

В современных условиях большую роль играет математическое моделирование, создание цифровой модели объекта. Новые технологии позволяют провести серию численных экспериментов путем изменения входных параметров и условий функционирования. Компьютерные модели заменяют натурные эксперименты. При выполнении численного эксперимента вероятность получения точного результата возрастает, при этом количество экспериментов не ограниченно.

Информационное моделирование позволяет охватить широкий спектр возможных вариантов событий. В данном случае качественные результаты можно получить достаточно быстро. Не требуется создавать сложные условия для реализации возможных аварийных ситуаций, которые повлекут материальные затраты. Численные эксперименты позволяют рассмотреть вопросы устойчивости конструкций при взрыве, пожаре или землетрясении, спрогнозировать возможные разрушения.

Моделирование сценариев и исследование возможных последствий позволяет говорить об эффективности принятых конструктивных и объемно-планировочных решений.

Цифровая модель объекта исследования реализуется с использованием специализированных программных комплексов, позволяющих рассматривать влияние этапа жизненного цикла на состояние элементов каркаса.

Материалы и методы. Выполнен визуальный и инструментальный осмотр каркаса здания с фотофиксацией (рис. 2). Исследовательские работы проводились согласно СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих

строительных конструкций зданий и сооружений», ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» и ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий». На момент проведения технического обследования здание не эксплуатировалось.



Рис. 2. Фотофиксация объекта (фото авторов)

Конструктивная схема здания – монолитный железобетонный каркас. Пространственная жесткость и устойчивость здания обеспечивается совместной работой колонн, балок, стен, монолитных плит перекрытия и покрытия. Фундаменты здания — монолитная железобетонная плита толщиной 1500 мм из бетона класса В30. Армирование выполнено отдельными стержнями арматуры класса А400 в продольном и поперечном направлении. Перекрытия монолитные толщиной 300 мм. Шахта лифта выполнена из керамического кирпича, лестничный узел монолитный. Наружные стены выполнены из керамического кирпича. Между поверхностями стен и колонн каркаса предусмотрен зазор не менее 20 мм, кладка имеет гибкие связи с каркасом, не препятствующие горизонтальным смещениям каркаса вдоль стен. Кровля плоская с водоотведением в ливневую канализацию.

В результате обследования установлен прогиб плиты покрытия пролетом 12 м, равный 205 мм при нормативно допустимом — 48 мм. Причиной прогиба плиты покрытия стала деформация двух стальных двутавровых балок сечением 60Б2, поврежденных коррозией и пожаром на этаже (рис. 3).



Рис. 3. Прогнутые стальные балки и плита покрытия (фото авторов)

Выполнен численный эксперимент по моделированию напряженно-деформированного стояния плиты покрытия с учетом полученного прогиба. Расчеты выполнены методом конечных элементов (МКЭ).

Основными теоретическими основами МКЭ являются: интерполяция данных, выбор аппроксимирующих функций, модификация краевых условий и точность вычислений. Ряд основных типов конечных элементов, используемых в строительной механике, общий алгоритм статического и динамического расчетов, результаты расчетов реальных зданий и сооружений методом конечных элементов, практические рекомендации, типичные и нетипичные проблемы и ошибки рассматриваются в работах многих авторов. Главным преимуществам МКЭ принято считать его понятность и доступность, а также тот факт, что МКЭ применяется для широкого круга задач.

Моделирование зданий и сооружений сложной формы, в том числе с учетом нагрузок на такие объекты, осуществляется исследователями с применением МКЭ с помощью различных инструментов и программных комплексов. МКЭ является главным инженерным инструментом автоматизированного математического анализа напряженно-деформированного состояния строительных конструкций.

В программном комплексе «ЛИРА-САПР» разработаны конечно-элементные модели технического этажа здания с учетом начального прогиба, соответствующего ведомости дефектов, и без дополнительных воздействий (рис. 4).

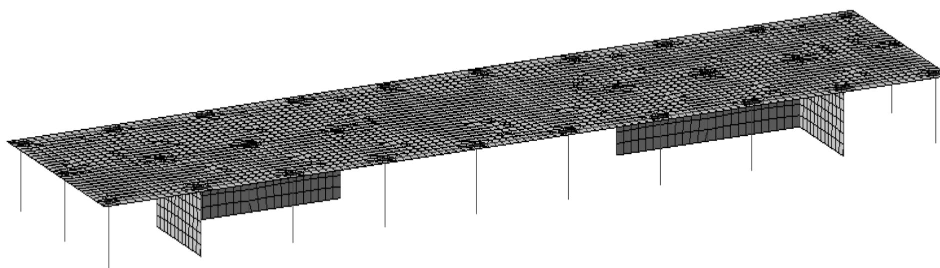


Рис. 4. Конечно-элементная модель этажа

Расчет по предельным состояниям II группы выполняется при ширине трещин продолжительного раскрытия — 0,3 мм, непродолжительного раскрытия — 0,4 мм. Шаг арматурных стержней принят 200 мм.

Класс бетона для всех конструктивных элементов принят В25 при относительной влажности воздуха 80 %. Класс продольной арматуры А-III, поперечной — А-I.

Получены площади арматуры железобетонной плиты покрытия в нормальном и аварийном состоянии. Армирование плиты в аварийном состоянии увеличилось в 8,3–17,2 раза по сравнению с армированием плиты без учета критических прогибов.

Предлагается выполнить демонтаж деформированной части монолитной железобетонной плиты покрытия методом вырезания и выполнить замену стальных балок.

Для подтверждения надежности несущих конструкций каркаса здания проведены статические и динамические расчеты в программном комплексе «ЛИРА-САПР» по пространственной схеме «основание — фундамент — верхнее строение» (рис. 5). Количество узлов расчетной модели — 60339, количество элементов — 74510, количество загружений — 10, средний размер сетки пластинчатых КЭ — 0,5×0,5 м.

Выполнено сравнение нагрузок на каркас здания по строительным нормам, актуальным на момент проектирования здания, и нагрузок по современным требованиям. В соответствии со СНиП II-6-74 Глава 6 «Нагрузки и воздействия» нагрузка на год постройки от снега составляла 50 кг на 1 м^2. В соответствии с актуализированной редакцией СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» площадка строительства расположена в снеговом районе с нормативным значением веса снегового покрова на 1м^2 в 80 кг.

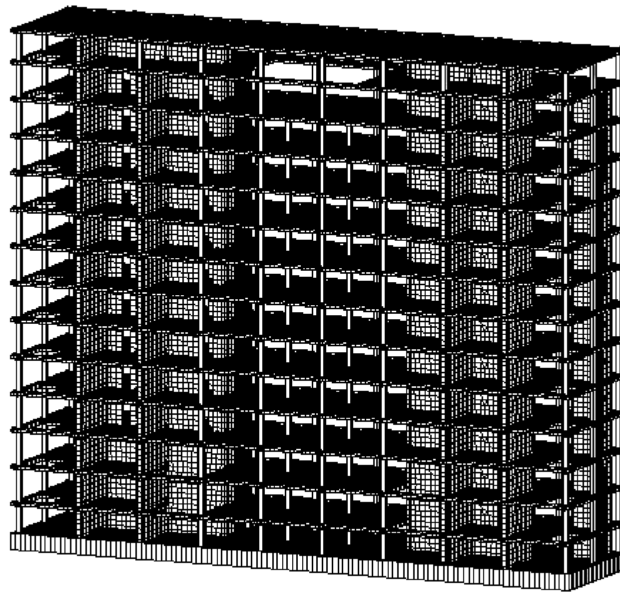


Рис. 5. Конечно-элементная модель (построена авторами)

Расчет осуществлен на следующие типы нагрузок, которые участвуют в формировании основных и особых сочетаний усилий:

– 1 загружение – собственный вес конструкций (постоянная нагрузка). В загружении автоматически учитывается собственный вес несущих конструкций на основании данных об удельном весе материалов;

– 2 загружение – полезные нагрузки (кратковременная нагрузка);

– 3 загружение – вес стен и полов (постоянная нагрузка);

– 4 загружение – снег (кратковременная нагрузка). Снеговая нагрузка принималась в виде распределенной по покрытию с учетом возможности возникновения снегового мешка, а также в виде линейной нагрузки на арки покрытия;

– 5, 6 загружение – статический ветер по *X* и по *Y*. Ветровые нагрузки приняты согласно сбору нагрузок и приложены поэтажно по внешнему контуру перекрытий и покрытия;

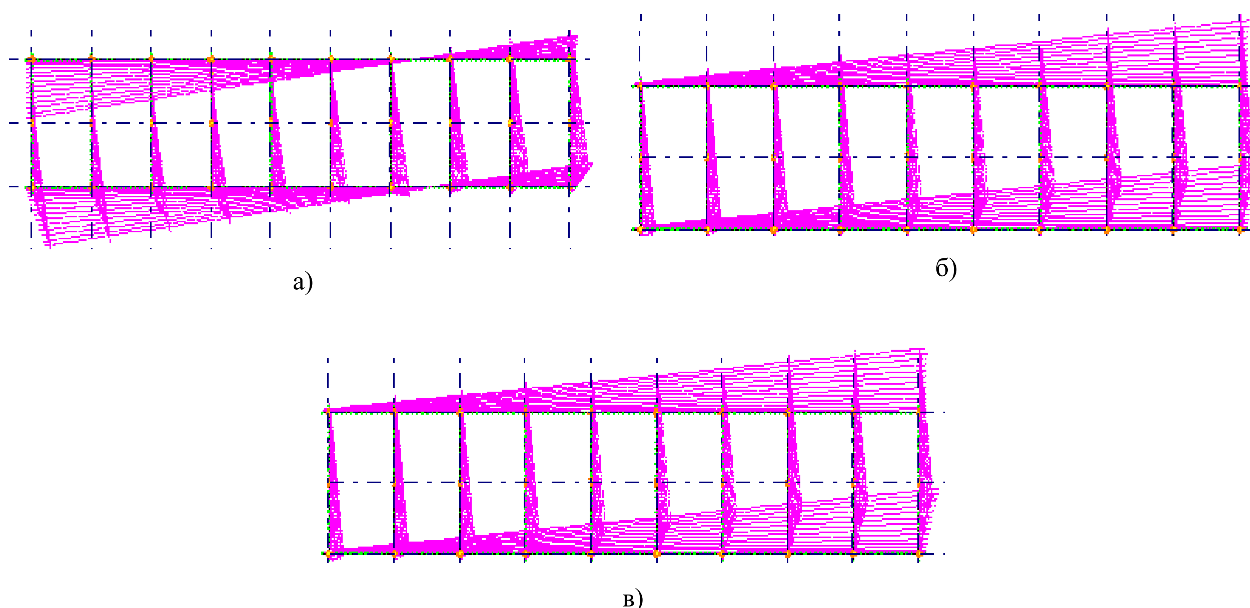
– 7, 8 загружение – динамический ветер по *X* и по *Y*. Пульсационная составляющая определялась средствами программного комплекса «ЛИРА-САПР» на основании статического расчета и расчета на собственные колебания;

– 9, 10 загружение – сейсмические воздействия прикладывались по направлениям: по *X* и по *Y*.

Модальный анализ предназначен для получения и анализа частот и форм свободных колебаний исследуемого объекта. Большое внимание уделяется значениями первых (низших) частот свободных колебаний, так как они определяют формы свободных колебаний объекта, то есть возможные способы деформации каркаса здания. На стадии проектирования рекомендуется провести модальный анализ с целью определения степени эффективности принятых конструктивных решений, оптимизации и рационализации таких решений.

Несущий остов здания также исследуется на возможность появления эффекта резонанса. В результате расчета получают главные формы и частоты собственных колебаний, перемещения в узлах.

При динамическом расчете каркаса здания учтены следующие нагрузки и воздействия: собственный вес несущих конструкций; постоянные нагрузки; вес временных перегородок; полезные нагрузки; снеговая нагрузка. Получены спектр частот и формы собственных колебаний (рис. 6) [1–2]. В результате анализа первых трех форм колебаний можно сделать вывод, что каркас здания имеет сложные конструктивные решения. Для обеспечения надежности конструктивных элементов необходимо разработать моделирование сейсмического воздействия с учетом крутильной компоненты загружения [3–5].



а) б) в)

Рис. 6. Формы колебаний: а) 1-я форма; б) 2-я форма; в) 3-я форма (рисунок авторов)

Обсуждение и заключения. Динамические характеристики каркаса здания с учетом требований к зданиям сложной конструктивной системы получены при моделировании сейсмического воздействия, включающего крутильные компоненты колебаний [6–8]. По результатам общего статического расчета с учетом динамических воздействий горизонтальное перемещение каркаса здания высотой 37,8 м составляет 18,7 мм, что не превышает предельное значение 75,6 мм. Максимальная величина прогиба покрытия составляет 34,1 мм, что не превышает предельного значения.

Конечно-элементное моделирование объекта осуществлялось с применением специализированных инструментов. Числовое моделирование и динамические расчеты позволяют получить достоверные результаты, на основе которых выбираются оптимальные конструктивные решения. Это обеспечивает высокую рациональность конструкций, снижение стоимости и объема используемых материалов.

Анализ результатов обследования, численного эксперимента, динамического и общего статического расчета каркаса здания с учетом сейсмических моментов позволяет сделать вывод о том, что несущие конструкции здания находятся в работоспособном состоянии за исключением плиты покрытия. Серия численных экспериментов по моделированию работы плиты покрытия включает рациональные решения по ее реконструкции. Даны рекомендации по учету сейсмических воздействий на каркас здания [9–10].

Библиографический список

1. Panasyuk, L. Researching design solutions for frames of buildings in case of increased seismic intensity in specific zones / L. Panasyuk, G. Kravchenko, E. Trufanova // International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City". — 2017. — P. 02027.

2. Aksenov, V. N. Evaluation of reinforced concrete cylindrical reservoirs with single-layered walls / V. N. Aksenov, V. Le Quyen, E. V. Trufanova // Procedia Engineering. — 2016. — Vol. 150. — P. 1919–1925.

3. Mailyan, D. R. Planning of multilayer cylindrical wall reservoirs / D. R. Mailyan, E. V. Trufanova // Procedia Engineering. — 2016. — Vol. 150. — P. 1926–1935.

4. Kravchenko, G. Analysis of blast load on a reinforced concrete column in the time domain / G. Kravchenko, E. Trufanova, D. Kostenko, S. Tsurikov // International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City". — 2017. — P. 04019.

5. Кравченко, Г. М. Динамический расчет объекта «Спортивно-оздоровительный комплекс» Технопарка РГСУ / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, Е. О. Шутенко, К.Н. Хашхожев // Инженерный вестник Дона. — 2015. — № 4.

6. Кравченко, Г. М. Динамический расчет и анализ полусферической оболочки покрытия объекта «Зимний сад» Технопарка Ростовского Государственного Строительного Университета (РГСУ) / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, С. В. Борисов, С. С. Костенко // Инженерный вестник Дона. — 2016. — № 1.

7. Агаханов, Э. К. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания / Э. К. Агаханов, Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки, — 2016. — № 3. — С. 8–15.

8. Айзенберг, Я. М. Шкала сейсмической интенсивности. Анализ и предложения по улучшению / Я. М. Айзенберг // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. — 2017. — № 5–6 (31). — С. 17–21.

9. Абакаров, А. Д. Вероятностные модели сейсмических воздействий / А. Д. Абакаров, Х. Р. Зайнулабидова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. — 2009. — № 15. — С. 92–97.

10. Абдуразаков, Г. М. Построение расчетных моделей оценки живучести рамных систем при сейсмическом воздействии / Г. М. Абдуразаков, А. Д. Абакаров // Вопросы современных технических наук: Свежий взгляд и новые решения. Сборник научных трудов конференции. — 2015. — С. 58–61.

Поступила в редакцию 12.11.2022

Поступила после рецензирования 18.11.2022

Принята к публикации 20.11.2022

Об авторах:

Кравченко Галина Михайловна — доцент кафедры «Техническая механика» Донского государственного технического университета (344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, galina.907@mail.ru

Труфанова Елена Васильевна — доцент кафедры «Техническая механика» Донского государственного технического университета (344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, el.trufanova@mail.ru

Кадомцев Максим Игоревич — и. о. зав. каф. «Медиатехнологии» Донского государственного технического университета (344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат физико-математических наук, ORCID, spu-49.2@donstu.ru

Заявленный вклад соавторов:

Г. М. Кравченко – научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования, корректировка выводов. Е. В. Труфанова – проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов. М.И. Кадомцев – анализ результатов исследований, доработка текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.